

文章编号: 1001-6112(2008)06-0617-04

冀中廊固凹陷火成岩对烃源岩及油气生成的影响

王建^{1,2}, 马顺平¹, 韩桂玲¹, 王权¹, 董雄英¹

(1. 华北石油勘探开发研究院, 河北任丘 062552; 2. 中国矿业大学, 北京 100083)

摘要:对冀中廊固凹陷火成岩侵入段烃源岩有机地球化学分析数据进行研究可知,火成岩侵入对镜质体反射率、H/C原子比等影响明显,而对烃比值、氢指数等影响不大,同时并未造成有机质过度熟化,而只是使生油高峰和湿气带上限提前。可见,火成岩侵入并非只是对烃源岩和先存油气藏起破坏作用,其短期的烘烤作用会使有机质的成熟度迅速增加,从而相比正常演化阶段要有所提前,尤其对未熟—低熟阶段烃源岩,可加速其熟化。而且火成岩多层侵入可增大生烃阶段烃源岩的厚度,更有利于油气生成。

关键词:火成岩; 烃源岩; 烘烤作用; 油气生成; 廊固凹陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.11

文献标识码: A

EFFECT OF IGNEOUS ROCKS ON SOURCE ROCKS AND HYDROCARBON GENERATION IN THE LANGGU SAG, CENTRAL HEBEI PROVINCE

Wang Jian^{1,2}, Ma Shunping¹, Han Guiling¹, Wang Quan¹, Dong Xiongying¹

(1. Exploration and Development Research Institute, Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China;

2. China University of Mining and Technology, Beijing, 100083, China)

Abstract: Organic geochemical data analysis is conducted on source rocks in intrusive igneous rock interval in the Langgu Sag, Central Hebei Province. The results indicate that intrusion of igneous rocks has distinct effect on R_o and H/C atomic ratio and less effect on HC/TOC and I_H , and it only shifts the oil generation peak and upper limit of wet gas belt to an earlier time instead of inducing overmaturation of organic matters. In this way, intrusion of igneous rocks does not damage source rocks or existing oil and gas reservoirs, but increases maturity of organic matters fast by means of short-term baking, and especially for those source rocks at immature—low maturity stage. Therefore, it is ahead of normal evolution stage. In addition, multiple intrusions of igneous rocks can thicken source rocks of hydrocarbon generation stage, which is more favorable for hydrocarbon generation.

Key words: igneous rocks; source rocks; hydrocarbon generation; baking; the Langgu Sag; the Bohai Bay Basin

长期以来,地质学家强调的是火成岩热力对烃源岩和先存油气藏的破坏作用^[1~3]。但实际上,沉积后的火山活动所导致的高热流值往往会加速有机质的熟化^[4~6],有些火山岩造岩矿物次生变化所释放出的组分可降低有机质的生烃门限或对其生烃具有催化作用^[7~11]。廊固凹陷是渤海湾裂谷盆地冀中拗陷北部的一个西断东超的箕状拗陷^[12](图1),为冀中拗陷火成岩发育的典型地区。自1978年发现火成岩油气藏以来,30年间又相继发现了5个油气藏。针对火成岩的储集性能曾展开过大量的讨论^[13~16],但对于烃源岩的影响却少有

论述。本文在总结前人研究工作的基础上,结合具体的实验分析数据,对岩浆活动造成的热事件对油气生成的影响做进一步的探讨。

1 廊固凹陷火成岩发育特征

第三纪地质历史时期,在右旋拉张应力作用下,廊固凹陷内形成基岩块体翘倾,沿着断裂产生多期岩浆活动。钻探和研究表明,凹陷内火成岩主要为辉绿岩和玄武岩。据统计,凹陷内共有151口探井钻遇火成岩,占全部探井数量的29%。从录井资料看,从石炭系、二叠系碎屑岩基底至古近系

收稿日期: 2008-03-13; 修订日期: 2008-10-08。

作者简介: 王建(1972—),男,工程师,在读博士生,主要从事石油地质及有机地球化学研究。E-mail: yjy_wangj@petrochina.com.cn。

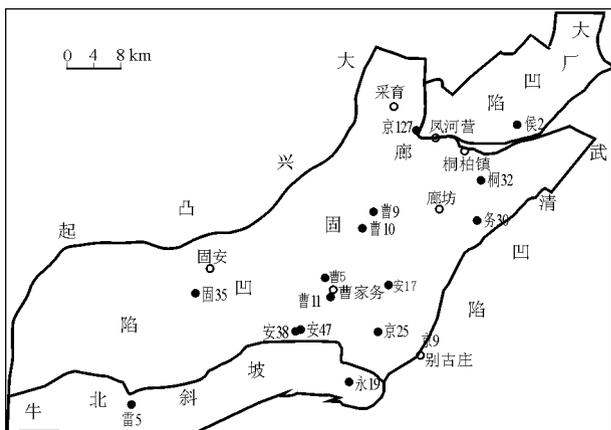


图1 冀中廊固凹陷位置示意

Fig. 1 Location of the Langgu Sag of Central Hebei Province

东营组均有火成岩分布,显示了凹陷内岩浆活动的多期性。

始新世末期(E_s^4)构造运动伴随有强烈的岩浆活动,发生了大面积玄武岩水下喷发及辉绿岩侵入,造成纵向上火成岩主要分布在 E_s^4 段地层。而之后到渐新世(E_s^3 — E_d),岩浆活动较弱,主要表现为沿基岩断裂分布的小型辉绿岩侵入体,厚度及分布范围都要远小于 E_s^4 段。

平面分布则受基岩断裂控制,集中分布于3个地区,形成3个火成岩群(图2)。1)曹家务火成岩群,来源于大兴断层的众多辉绿岩侵入体组成,平面分布受大兴断层控制,分布范围最广,面积达 420 km^2 ; 2)别古庄火成岩群,由从牛东断裂水下喷发形成的玄武岩组成,呈岩被形态,与顶底围岩平行,岩体分布受牛东断裂控制,分布面积为 90 km^2 ; 3)采育—

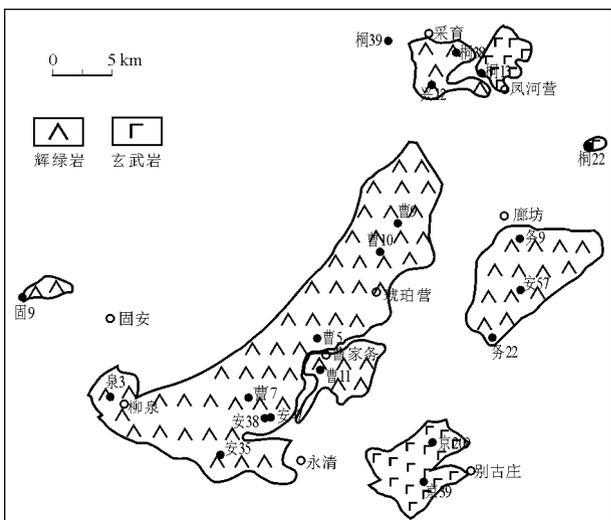


图2 冀中廊固凹陷火成岩分布

Fig. 2 Distribution plan of igneous rocks in the Langgu Sag of Central Hebei Province

凤河营火成岩群,主要分2部分:采育洼槽主要为源自大兴断层断根部的辉绿岩体,南部受桐柏镇断层控制;凤河营构造上的火成岩则为水上喷发成因的玄武岩。该火成岩群分布面积为 50 km^2 。

已有研究表明水下火山喷溢环境是优质生油岩赖以形成的主导因素^[17]。而侵入岩体的烘烤作用对生油岩的影响作用如何呢? 本文以曹5井为例来研究侵入岩(主要为辉绿岩)对油气生成的影响。

2 侵入火成岩体对烃源岩及油气生成的影响

曹5井揭示出 E_s^4 段 $3\ 616\sim 3\ 676 \text{ m}$ 和 $4\ 575\sim 4\ 653 \text{ m}$ 2个井段内均有辉绿岩侵入。通过对 R_o 、烃比值(HC/TOC)及分子标志物等有机地球化学参数的分析,可研究热演化的异常变化及对油气生成的影响。

2.1 有机地球化学参数的异常变化

2.1.1 镜质体反射率的异常变化

从曹5井 R_o 随井深变化剖面图(图3)上看,在有火成岩侵入的 $3\ 616\sim 3\ 676 \text{ m}$ 和 $4\ 575\sim 4\ 653 \text{ m}$ 2个井段内,镜质体反射率都出现了明显的突变。在第一段内 R_o 值由 1% 左右增大到最大值为 2.93% ,受火成岩影响的5块样品平均值为 1.85% ; 在第二段内, R_o 值由上部的 1.2% 左右增大到最大值 1.88% ,6个样品平均值为 1.68% 。说明这2段生油岩已进入高成熟阶段。而受火成岩烘烤作用的影响,其上下相邻井段烃源岩的演化程度也相对变高, R_o 值均超过 1.1% ,显示同样处于高成熟阶段。根据前人研究,廊固凹陷 E_s^4 — E_k 组 R_o 值在 $4\ 600 \text{ m}$ 以下才

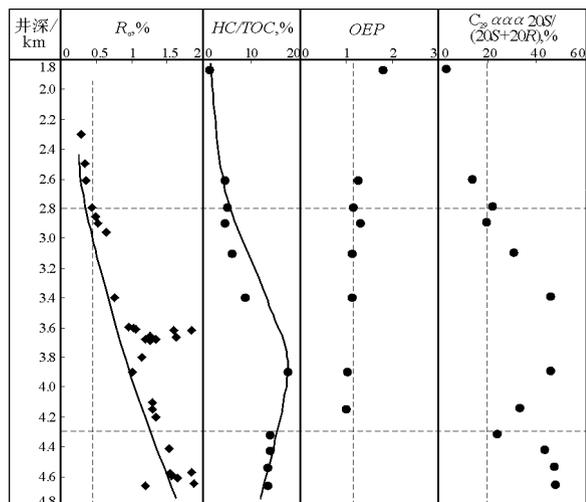


图3 冀中廊固凹陷曹5井有机质热演化剖面

Fig. 3 Thermal evolution section of organic matter of Well Cao 5 in the Langgu Sag of Central Hebei Province

大于 1.1%，因此湿气带上限定在 4 600 m 左右(图 4)^[18]。可见火成岩侵入对 R_o 值影响较大。

2.1.2 烃比值的异常变化

HC/TOC 值受火成岩侵入影响并没有 R_o 值那么大。在图 3 中显示,在 4 350 m 左右,减小的速度变缓,出现一拐点。表明在此深度之下应该开始进入高成熟阶段。而图 4 显示,无火成岩影响则在 4 600 m 以下 HC/TOC 值减小的速度变缓,开始进入高成熟阶段。相比之下,曹 5 井湿气带上限提前了 250 m 左右。转化率指标相对镜质体反射率滞后可能与时间有关。虽然火成岩的侵入造成地温短期升高,导致 R_o 值突变,但由于时间较短,有机质向液态烃的转化仍需一定时间,且生成的液态烃仍未排出也会造成一定影响。

2.1.3 生物标志物组成的变化

OEP 、 $22S/22R-C_{31}$ Hop 等指标对于划分成熟门限有借鉴意义,但当演化程度增高时,尤其达到生油高峰时,这两项指标已不再具有划分功能。而在达到生油高峰之后, $C_{29} \alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 比值基本稳定在 40%。进入凝析油湿气阶段,则已超出了异构化平衡终点值,以上各项生物标志物成熟度指标不会再对成熟度变化有任何反映了。

2.1.4 其它参数的变化特征

曹 5 井 H/C 原子比所显示的特征也与 R_o 值基本一致。自 3 600 m 以下,H/C 原子比值平均为 0.68,但最小也达到 0.56,说明仍处于高成熟阶段。而氢指数的变化则显示出与 HC/TOC 相同的特征。在 4 350 m 以下,氢指数降到了 100 mg/g 以下,平均为 78 mg/g,而此深度之上,氢指数平均为

137 mg/g。

由上述不同地化参数对火成岩侵入所造成的短期热效应的响应程度的不同,可发现短期的异常热事件对于 R_o 、H/C 原子比等不可溶部分地化指标的影响较大,但对于沥青“ A ”/ TOC 、 HC/TOC 、氢指数的影响,不如 R_o 等明显,这说明有机质向液态烃的转化需要一定的时间,已生成的烃类来不及从烃源岩中排出,因而指标显示成熟度相对较为滞后。而组分变化则表明,3 600 m 以下,饱和烃含量占绝对优势,平均值达到 68%,而非烃+沥青质含量平均仅为 24%。表明液态烃来不及排出而进一步遭受高温裂解。我们在划分热演化阶段时,主要考虑到油气生成及排出的时间,所以曹 5 井湿气带上限定在了 4 350 m 左右。实际上由于火成岩的烘烤作用,3 600 m 以下已达到凝析油湿气阶段。

2.2 对烃源岩及油气生成的影响

通过上述分析,火成岩侵入导致曹 5 井整个剖面的烃源岩成熟度普遍增高,但并未使 Es^4 底达到过成熟阶段。而只是使本井生油高峰与湿气带上限提前。火成岩的这种热效应与正常地温场复合叠加,致使所生成的油气演化程度也较高,导致在正常演化阶段未达到湿气带上限时,所生成的油气基本上均为凝析油湿气。考虑到本井火成岩侵入段为 Es^4 段地层,本身既具备较高的成熟度;对于较低演化程度的地区,这种热事件会造成何种影响,还有待进一步论证。

油源对比表明曹 5 井 3 962 m 原油和 Es^4 段烃源岩明显存在 $18\alpha(H)$ 奥利烷,且 $C_{29} Ts$ 和 C_{30} 重排藿烷相对丰度很高; Es^3 段烃源岩则不同,上述 3 种五环三萜烷的相对含量甚微,甚至有的基本不存在。同时,原油正烷烃相对丰度很高,类异戊间二烯烷烃丰度很低, Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 分别只有 0.28~0.35 和 0.23~0.29。重排甾烷、“地质型”甾烷相对丰度也较高,与 Es^4 段烃源岩一致显示出较高的演化特征(图 5)。说明火成岩侵入并未对烃源岩及油气起到破坏作用。

3 结束语

1) 火成岩侵入并不一定对烃源岩及油气藏起到破坏作用。其短期的烘烤作用会使有机质的成熟度迅速增加,从而相比正常演化阶段要有所提前。虽然侵入岩体对烃源层成熟度影响范围较小^[19],但多层侵入可使影响厚度大大增加。

2) 曹 5 井样品处于 Es^4 段地层,本身演化程度较高,火成岩烘烤的叠加效应使整个 Es^4 段地层均

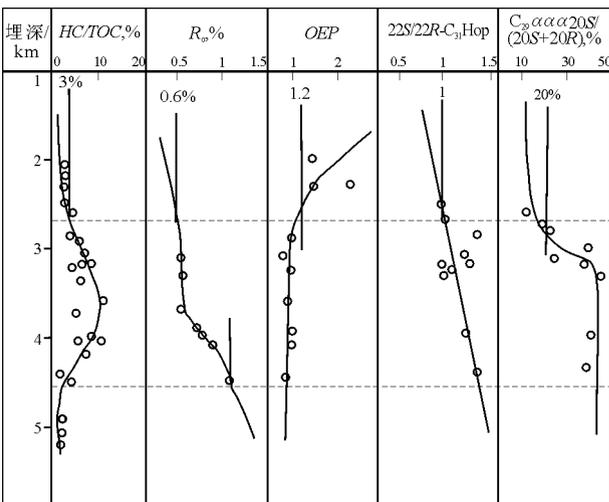


图 4 冀中廊固凹陷 Es^4 — Ek 烃源岩有机质热演化剖面

Fig. 4 Thermal evolution section of Es^4 — Ek source rocks in the Langgu Sag of Central Hebei Province

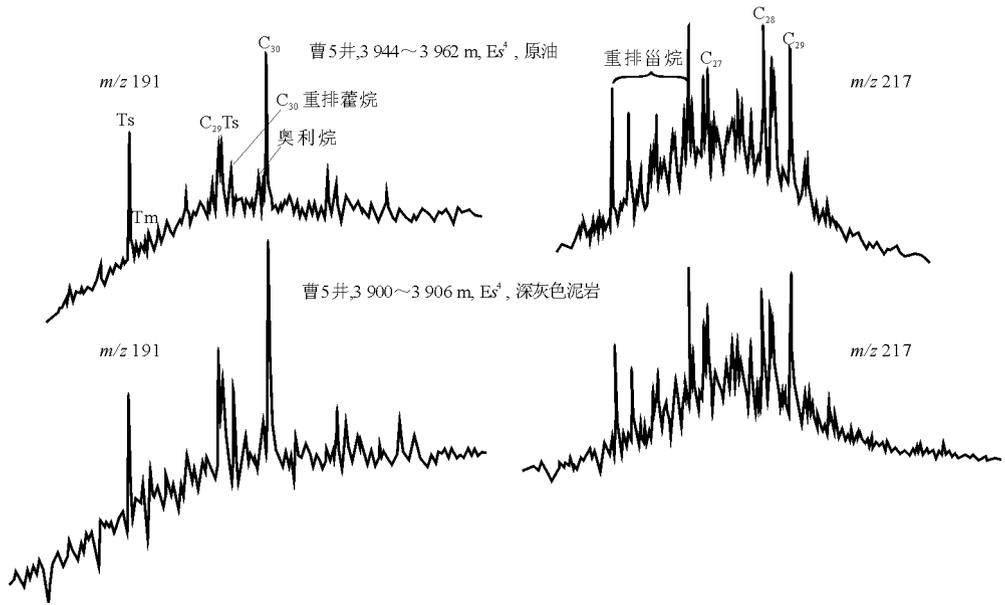


图5 冀中廊固凹陷火成岩发育区原油、烃源岩甾、萜烷特征

Fig. 5 The typical chart of gonane and terpane of oil and source rocks in igneous rocks distribution in the Langgu Sag of Central Hebei Province

进入了高成熟阶段。本段母质类型较差,属 II₂—III型母质,相对较高的演化程度正好有利于凝析油湿气的形成。油源对比也表明 Es⁴ 段原油即为来自 Es⁴ 段高成熟阶段烃源岩的凝析油气藏。可见,火成岩侵入并未使之过度熟化。

3)对于低成熟度地区,如有火成岩侵入,将会使生油门限提前,更会使生油高峰提前,并使生油高峰段的烃源岩厚度加大,进而更加有利于油气的生成。

参考文献:

- 1 周立宏,吴永平,肖敦清等. 黄骅拗陷第三系火成岩与油气关系探讨[J]. 石油学报,2000,21(6):29~34
- 2 李荣西. 有机质热演化与低级变质作用[J]. 地质科技情报,1996,15(3):64~66
- 3 段智斌. 火成岩油气藏来源及火山活动对油气影响的探讨[J]. 石油技术,1990,3(1):9~12
- 4 Galushkin Y I. Thermal effects of igneous intrusions on maturity of organic matter: A possible mechanism of intrusion[J]. Org Geochemistry,1997,26(11~12):645~658
- 5 曾广策,王万正,郑和荣等. 东营凹陷新生代火山岩及其与盆地演化、油藏的关系[J]. 地球科学,1997,22(2):157~163
- 6 金强. 裂谷盆地火山活动与油气藏的形成[J]. 石油大学学报(自然科学版),2001,25(1):27~33
- 7 万从礼,翟庆龙,金强. 生油岩与火成岩的相互作用研究初探[J]. 地质地球化学,2001,29(2):46~51

- 8 万从礼,金强,范保军. 火山矿物对烃源岩生烃演化作用的研究现状[J]. 油气地质与采收率,2001,8(4):15~17,20
- 9 Mango F D. Transition metal catalysis in the generation of petroleum and natural gas[J]. Geochim Cosmochim Acta,1992,56:553~555
- 10 Mango F D, Hightower J W, Alan T James. Role of transition-metal catalysis in the generation of natural gas[J]. Nature,1994,368(7):536~538
- 11 Mango F D. Transition metal catalysis in the generation of natural gas [J]. Geochim Cosmochim Acta,1996,24(10/11):977~984
- 12 宋荣彩,周文,董树义等. 渤海湾盆地廊固凹陷油气分布特征研究[J]. 石油实验地质,2008,30(1):64~68
- 13 梁宏斌,张舒亭,李清等. 冀中廊固凹陷火成岩成藏条件研究[J]. 特种油气藏,2003,10(1):82~85
- 14 李维华,刘明生,曾宪云等. 冀中廊固凹陷板岩油气藏勘探实践与认识[J]. 中国石油勘探,2001,6(2):20~22
- 15 谭俊敏,孙志信. 火成岩侵入形成的构造物理模拟实验及实例[J]. 石油实验地质,2007,29(3):324~328
- 16 杨贵丽,蒋有录,吕希学. 济阳拗陷火成岩油气藏成藏特征分析[J]. 油气地质与采收率,2005,12(1):23~30,87
- 17 金强. 裂谷盆地生油层中火山岩及其矿物与有机质的相互作用[J]. 地球科学进展,1998,13(6):542~546
- 18 梁狄刚,曾宪章,王雪平等. 冀中拗陷油气的生成[M]. 北京:石油工业出版社,2001.1~231
- 19 秦建中. 羌塘盆地有机质热演化与成烃史研究[J]. 石油实验地质,2006,28(4):350~358

(编辑 徐文明)